



CARACTERISATION EAUX DE SURFACE – EAUX SOUTERRAINES DANS L'AQUIFERE COTIER DU BASSIN VERSANT DE LA LOEME EN REPUBLIQUE DU CONGO

CHARACTERIZATION SURFACE WATER - GROUNDWATER AQUIFER IN COASTAL WATERSHED OF THE REPUBLIC OF CONGO LOÉMÉ

*NGOUALA M.M.¹, MBILOU U.G.², TCHOUMOU M.³,
SAMBA-KIMBATA M.J.¹*

¹Département de Géographie, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines, Université Marien Ngouabi. BP : 69 Brazzaville - République du Congo.

²Département de Géologie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Marien Ngouabi. BP : 69 Brazzaville – République du Congo.

³Département de Chimie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Marien Ngouabi. BP : 69 Brazzaville – République du Congo.

medngouala@yahoo.fr

RESUME

Cette étude caractérise les eaux du bassin versant de la Loémé par des méthodes de terrain et du laboratoire. Les composantes physico-chimiques ont été mesurés *in situ* et les analyses chimiques au laboratoire. Les analyses chimiques ont visé des méthodes hydrochimiques et statistiques. Les paramètres du bilan hydrologique ont servi à l'évaluation de l'alimentation de la nappe. Les courbes d'évolution des niveaux piézométriques montrent deux tendances : la recharge et la décharge de la nappe. La répartition spatiale des ions majeurs dans ce bassin versant montre des pics aux extrémités et au centre. Il ressort que les eaux de cette zone sont caractérisées par de faibles teneurs en ions, c'est le témoignage de l'alimentation de la nappe en eau superficielle et l'apport des différentes formations géologiques traversées. La minéralisation des eaux est principalement régie par des phénomènes d'écoulement, de dissolution et de précipitation des minéraux comme : la calcite, le gypse,... L'analyse des composantes principales indiquent que les variables qui contrôlent la

salinisation des eaux (ions majeurs) représentent l'axe de minéralisation. Le diagramme de Piper montre trois groupes d'eau : chlorurées et sulfatées calciques et magnésienne ; chlorurées (nitrées) sodiques et potassique ou sulfatées sodiques ; bicarbonatées calciques et magnésiennes.

Mots clés : Congo, Bassin versant de la Loémé, hydrologie souterraine, aquifère côtier.

ABSTRACT

This study characterizes the waters of the watershed Loémé by field and laboratory methods. The physico-chemical components were measured in situ and chemical analysis in the laboratory. Chemical analyzes referred hydrochemical and statistical methods. The parameters of the water balance were used in assessing the power of the web. The curves of changing groundwater levels show two trends: the charging and discharging of the web. The spatial distribution of major ions in this watershed shows peaks at the ends and center. It appears that the waters of this area are characterized by low levels of ions, the testimony of the power of the surface water table and the contribution of different geological formations through. Mineralization of water is governed primarily by flow phenomena of dissolution and precipitation of minerals such as: calcite, gypsum... The principal component analysis indicated that variables controlling salinity water (ions major) represent the axis of mineralization. The Piper diagram shows three groups of water: Chloride calcium and magnesium sulphates; Chloride (nitrated) sodium and potassium or sodium sulphates; calcium and magnesium bicarbonates.

Keywords: Congo, Watershed Loémé, groundwater hydrology, coastal aquifer.

INTRODUCTION

Le Congo possède d'énormes potentialités en ressources en eau bien que non dotée d'un inventaire complet de son potentiel en eau de surface et en eau souterraine (Mott Mac Donald et al., 1991). De même la connaissance du fonctionnement hydrodynamique et hydrochimique de ses aquifères est moins diagnostiqué. L'aquifère côtier du bassin versant de la Loémé appartient au bassin sédimentaire côtier du littoral congolais. Il est l'un des bassins versants fluviaux du Congo-Brazzaville. Les infiltrations des eaux de surface sont importantes dans ce bassin versant d'où le caractère temporaire de ces eaux en

surface. Les travaux de Maziezoula et Moukolo (1988), Moukolo (1992) ont permis d’établir un modèle de fonctionnement de la nappe superficielle, dans le bassin versant de la Loémé à partir des précipitations et de l’épaisseur de la zone non saturée. La présente étude traite des données du bilan hydrologique, hydrogéologiques et hydrochimiques recueillies dans le bassin-versant de la Loémé.

MATERIEL ET METHODES

Présentation de la région d’étude

Le bassin versant de la Loémé est situé au Sud-Ouest du Congo, entre les latitudes 4° et 5° sud et les longitudes 11° 54’ et 12° 40’ Est (fig. 1).

Le bassin-versant de la Loémé comprend des affluents de second ordre, ce qui le subdivise en deux sous-bassins adjacents du Nord au Sud. Le principal affluent de la Loémé est la Loukénéne formant un exutoire à Bilinga (ex Fourastié). Il est sous, régime tropical de transition austral, se caractérisent par une période des basses eaux (de juin à septembre) et une période de hautes eaux (d’octobre à mai). Leur régime hydrologique torrentiel est lié à la nature des roches dures et des fortes pentes (Anonyme, 1989).

Géologie

Le bassin sédimentaire côtier s’étend sur près de 150 km de long sur 60 km de large. Son histoire géologique, qui débute au Crétacé inférieur par un régime continental et se termine au tertiaire dans un contexte franchement marin, s’est déroulée en trois épisodes :

- un épisode anté-salifère dominé par une tectonique à horsts et grabens orientés NW-SE, et une sédimentation lacustre à palustre génératrice des hydrocarbures dont une partie a migré et a formé des gisements de grès bitumineux en bordure du Mayombe ;
- un épisode salifère composé de plusieurs cycles où alternent des sels de potasse et des sels de sodium. Cet épisode est à l’origine des gisements de potasse dont un a déjà été exploité (Makola) ;
- un épisode post salifère caractérisé par l’halocinèse et une sédimentation de plate-forme peu profonde de grès et de calcaires, où sont signalés de nombreux niveaux de phosphates.

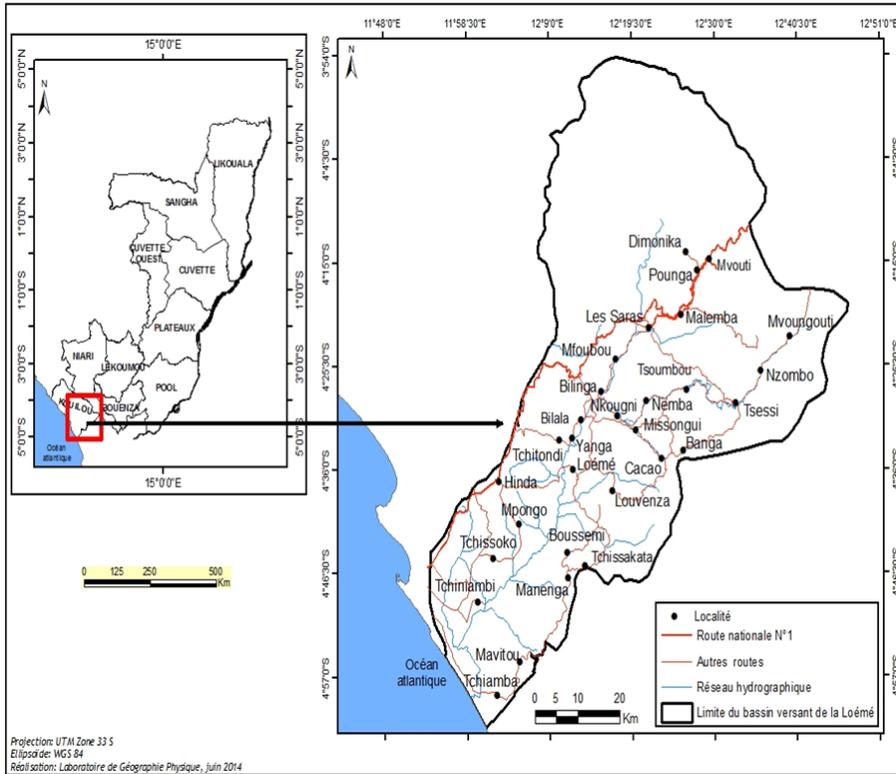


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Les formations cristallines et cristallophylliennes du Mayombe supposent l'existence d'une stratigraphie complexe avec une grande variété de roches. Les reconnaissances hydrogéologiques effectuées dans le Mayombe (bassin côtier y compris) avaient conclu à l'existence de deux types d'aquifères.

Les aquifères généralisés

Ils sont constitués par les formations superficielles (alluvions et éluvions). Ces aquifères se localisent la plupart du temps dans les vallées creusées dans les roches tendres (schistes et micaschistes). Généralement les nappes qu'ils contiennent sont très productives. On a obtenu des débits spécifiques de l'ordre de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ par mètre de rabattement.

Les aquifères discontinus

La littérature existante révèle que la région du Mayombe a connu une tectonique très intense. Ceci est confirmé par son aspect montagneux qui se manifeste par une topographie tourmentée. On peut supposer qu’il existe des fractures pouvant favoriser les circulations d’eau souterraine. Toutefois, les quantités d’eau dans ce type de réservoirs sont souvent dérisoires, les zones productives étant localisées dans les horizons superficiels altérés.

Sols

Les sols du littoral sont essentiellement sablonneux. On y distingue des **sols alluviaux** qui occupent des surfaces plus importantes dans la partie orientale du bassin-versant de la Loémé. La somme des cations échangeables est plus élevée que dans les sols bien drainés.

La profondeur utile de ces sols est souvent limitée par l’existence d’un horizon gravillonnaire.

Dans le bassin versant de la Loémé, les nappes sont contenues dans différentes formations précambriennes constituées des roches granitiques. Elles reposent sur un substratum argilo- sableux. Ces dépôts ont une perméabilité de $3,87.10^{-5}$ m.s⁻¹ à $21,1.10^{-5}$ m.s⁻¹ ; une transmissivité de $9,4.10^{-3}$ à $1,87.10^{-3}$ m².s⁻¹ et un coefficient d’emmagasinement de $1,17.10^{-4}$ à $11,71.10^{-4}$.

Constitution de la banque de données

La méthodologie utilisée consiste à intégrer et à représenter des informations cartographiques, piézométriques et descriptives des composantes du milieu dans un Système d’Information Géographique (SIG) en vue d’étudier la morphologie de la nappe de l’aquifère côtier du bassin versant de la Loémé. Nous avons créé une base de données à références spatiales contenant des informations qualitatives et quantitatives nécessaires pour ce bassin-versant.

Collectes des données

Pour la réalisation de cette étude, les données SIG utilisées sont les suivantes : les données géologiques (stratigraphie...), les données topographiques, les

données hydrodynamiques (perméabilité de Darcy, transmissivité hydraulique, coefficient d'emmagasinement...), les données hydrogéologiques (régime d'exploitation, piézométrie...) et les coordonnées géographiques. Ces données collectées sont mises sous forme de fichiers DBF.

Pour la collecte des données, l'étude s'est appuyée sur les enregistrements à partir d'une station hydrométrique, de treize piézomètres et de quarante points d'échantillonnage. Les différentes données ont été couplées à un système d'enregistrement continu des variations du niveau de la nappe. Afin, d'identifier les variations de cette nappe, de déterminer le temps de réponse et la vitesse d'infiltration des eaux de pluie. Les résultats constitueront les paramètres d'entrée pour le modèle de l'ensemble du système hydrologique du bassin versant de la Loémé.

La méthodologie développée dans cette étude utilise des règles qualitatives et quantitatives, ainsi que des évaluations et une hiérarchisation des paramètres intervenant dans le fonctionnement hydrodynamique de la nappe du bassin versant de la Loémé. L'ensemble de ces données est intégré dans un système d'informations géographiques pour une meilleure gestion de l'information.

Les données disponibles sur les paramètres hydrodynamiques dans le bassin versant de la Loémé sont issues des différents essais de pompages que nous avons réalisés. Ces différentes données ont été reprises dans les nouveaux forages d'exploitation aménagés dans ledit bassin versant.

Le contexte hydrogéologique concerne entièrement tout le bassin versant, en extrapolant les résultats des forages et des puits afin de les superposer dans le système d'informations géographiques. Il s'agit de l'indicateur de disponibilité en eau, des champs captant, des profondeurs des ouvrages (puits d'eau et forages), du niveau piézométrique, de l'altitude. La topographie des différentes couches géologiques du bassin versant de la Loémé, est reconstituée par le substratum et le toit de l'aquifère.

Traitement des données

Le traitement des données consiste à les restaurer sous forme de table DBF afin de les rendre utilisables dans le logiciel (ArcGis). Cette informatisation s'effectue en trois phases :

- création de fichier DBF ;
- création d'une base de données cartographiques sous forme d'images et de fichier (shape files) ;

- importation des données par le logiciel ArcGis.

Le logiciel ArcGis a permis de créer les cartes de fond numérisées du bassin versant de la Loémé, de tirer des images satellitaires et des données cartographiques scannées. Les couches numérisées sont superposées avec d'autres couvertures numérisées des différents paramètres (hydrodynamiques et hydrogéologiques). Ce logiciel a permis de créer la carte d'isovaleurs du paramètre étudié.

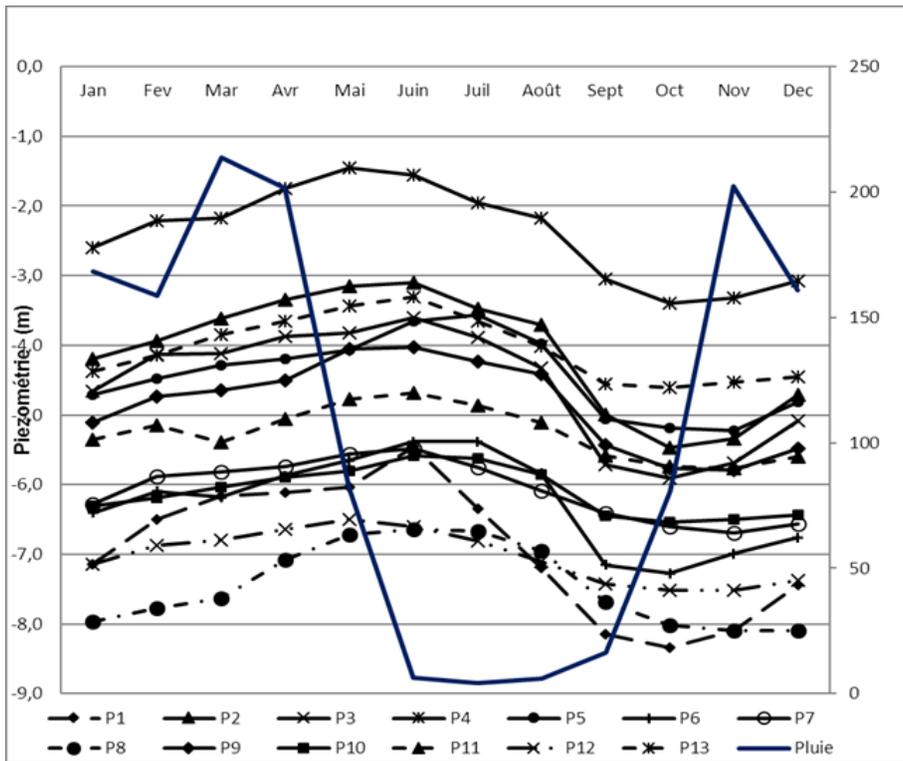


Figure 2 : Evolution des niveaux piézométriques sous l'effet des pluies

RESULTATS ET DISCUSSION

Contexte hydrodynamique de l'aquifère côtier du bassin versant de la Loémé

Les paramètres hydrodynamiques de ces ouvrages sont variables et ceci est dû à plusieurs phénomènes qui liés essentiellement aux caractéristiques des ouvrages, à la géométrie locale de l'aquifère, à des causes artificielles et à des phénomènes naturels qui peuvent être classés en deux groupes : les variations naturelles et les variations artificielles.

Données piézométriques sous l'effet des pluies dans le bassin versant de la Loémé

La figure 2 présente l'évolution des régimes des côtes piézométriques et des précipitations. On note un décalage entre le régime des précipitations et celui des niveaux piézométriques. Le premier maximum des précipitations est observé en mars-avril et le deuxième en novembre, alors que les niveaux piézométriques connaissent le maximum au mois de mai-juin. La dépendance des niveaux piézométriques aux précipitations est fonction de la nature des sols, relief, etc. La dépendance permet de vérifier l'hypothèse que l'écoulement d'eau souterraine est conditionné par plusieurs facteurs qui sont : les sols, le relief, le climat, la pluviométrie,....

Cartographie de l'aquifère du bassin versant de la Loémé

Cette nappe a été suivie de septembre 2011 à février 2013. Les différents chronogrammes des points d'observation (fig. 3) montrent que les variations du niveau de la nappe sont étroitement liées au cycle des précipitations. Dans tous les puits du réseau d'observation, ces variations sont plus ou moins importantes après une petite saison sèche ce qui laisse croire que les premières précipitations s'infiltrent plus rapidement et ceci est peut être favorisé par les sols secs au départ. En tenant compte de la profondeur de la nappe et du temps qui sépare la remontée et l'averse, la vitesse d'infiltration dans le bassin-versant de la Loémé varie entre $1, 5 \cdot 10^{-8}$ et $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$. Elle est corroborée par une forte perméabilité ($15, 29 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$) des formations géologiques du bassin-versant.

Caractérisation eaux de surface – eaux souterraines dans l’aquifère côtier du bassin versant de la Loémé en République du Congo

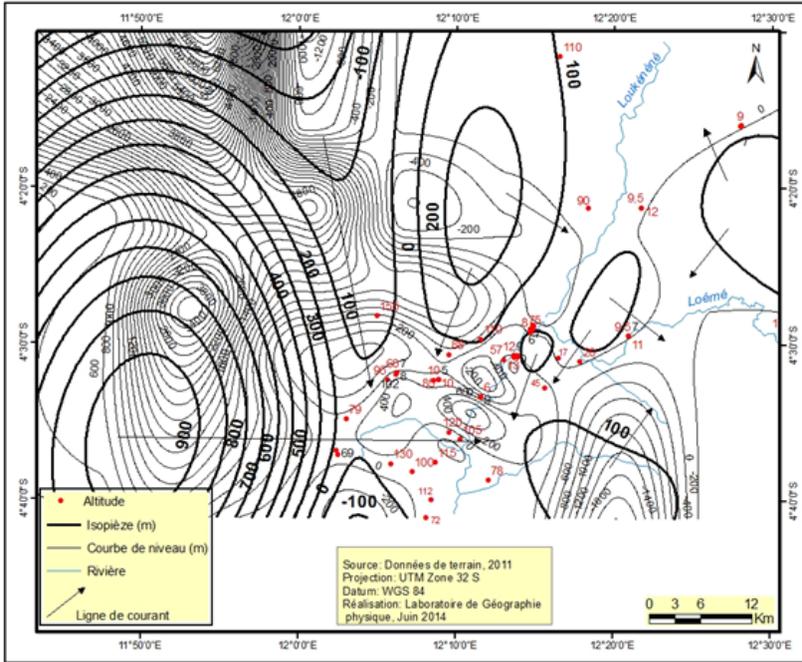


Figure 3 : Circulation générale des eaux souterraines de la nappe dans le bassin versant de la Loémé

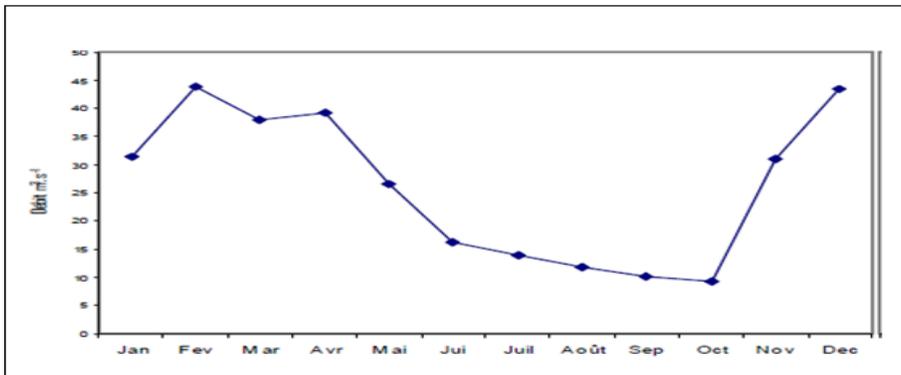


Figure 4 : Variation mensuelle des débits du fleuve Loémé (de 1972 à 1979)

Données hydrométriques du fleuve Loémé

Le régime hydrologique de la Loémé est caractérisé par une succession des périodes de hautes et de basses eaux (fig. 4). Les périodes des crues, très longues, se produisent surtout au cours des mois de mars, avril, novembre et décembre. La saison de basses eaux débute en mai et s'achève au début de la prochaine saison des pluies en octobre. Pendant la période de hautes eaux, le ruissellement est élevé avec des pointes de crue correspondant aux grandes averses.

L'hydrogramme, cette courbe de variation des débits en fonction du temps montre à chaque station des formes simples ou complexes. A partir des données obtenues, le ruissellement superficiel « R » a pu être évalué et les valeurs caractéristiques des crues maximales sont représentées dans le tableau I. Les valeurs les plus faibles des crues s'observent au mois de décembre 1977 due peut être au manque des précipitations du mois de février qui accusent un ralentissement (tableau I). Le coefficient de ruissellement se situe presque toujours entre 0 et 30 % le long de l'année.

Tableau 1 : Evénement des crues dans le fleuve Loémé de 1972 à 1978

Date	Débits ($Q_{\max}/m^3 \cdot s^{-1}$)
25. XI. 1972	324
15. XI. 1973	278
23. III. 1974	191
7. XII. 1975	291
3. III. 1976	241
1. XII. 1977	91
27. XI. 1978	290

La Loémé possède un régime hydrologique tropical humide. Les débits moyens mensuels de la Loémé atteignent leur maximum de $324 m^3/s$ au mois de novembre 1972 vers le début de la saison des pluies. Une fluctuation du niveau de la nappe, atteignant un maximum en novembre, peut être mise en évidence par les observations piézométriques en proche bordure des rives de ce cours d'eau le fleuve Loémé.

En soutenant le niveau de la nappe tout le long de son cours, la Loémé constitue une limite à potentiel imposé, créant un gradient hydraulique permanent vers l’aquifère dont le flux devient très vite inférieur à l’exfiltration au fur et à mesure que l’on s’éloigne du fleuve.

L’étude du bilan hydrologique et de la morphologie de la surface piézométrique de la nappe du bassin versant de la Loémé a permis d’évaluer ces différents termes hydroclimatiques : précipitation moyenne sur le bassin égale à 1513 mm/an, ruissellement de 151 mm/an en moyenne, évapotranspiration égale à 984 mm/an, infiltration de 378 mm/an.

Corrélation entre les différents paramètres hydrochimiques

Les résultats de l’analyse chimique des eaux des différents points de mesure dans le bassin versant de la Loémé montrent une stabilité de leurs propriétés physico-chimiques durant toutes les campagnes d’échantillonnage. Les eaux de la nappe de l’aquifère côtier de ce bassin-versant ont une minéralisation relativement faible. Le dosage a été porté sur les éléments majeurs suivants : les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- et NO_3^-).

Statistiques des concentrations des paramètres de base et des ions majeurs

Le tableau 2 présente les résultats d’analyses physico-chimiques pour l’ensemble des points étudiés lors de nos campagnes d’échantillonnage d’août 2011 à décembre 2013.

Tableau 2 : Analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la zone d’étude (bassin versant de la Loémé)

Paramètres	Normes de l’OMS, 2006	Minimum	Maximum	Moyenne
pH	6,5 - 8,5	4,44	6,58	5,59
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 20°C	180 à 1000	16,33	47,17	31,88
T (°C)	25	25,92	26,48	26,2
Ca^{2+} (mg/l)	40 à 160	12,83	23,67	18,13
Mg^{2+} (mg/l)	50	4,67	14,33	9,84
Na^+ (mg/l)	< 20	0,09	0,49	0,22
K^+ (mg/l)	12	4,08	7,73	5,57
SO_4^{2-} (mg/l)	500	11	19,83	14,72
Cl^- (mg/l)	250	6,71	14,32	23,42
HCO_3^- (mg/l)	500	16,17	35,33	23,42
NO_3^- (mg/l)	50	0,34	16,94	1,39

Tableau 2 (suite) : Analyses physico-chimiques des eaux souterraines de la zone d'étude (bassin versant de la Loémé)

Paramètres	Normes de potabilité de l'OMS, 2006	Variance	Ecart-type
pH	6,5 - 8,5	0,21	0,46
CE ($\mu\text{S/cm}$) à 20°C	180 à 1000	48,3	6,95
T (°C)	25	0,01	0,12
Ca ²⁺ (mg/l)	40 à 160	4,77	2,18
Mg ²⁺ (mg/l)	50	5,91	2,43
Na ⁺ (mg/l)	< 20	0,01	0,1
K ⁺ (mg/l)	12	0,56	0,75
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	500	4,8	2,19
Cl ⁻ (mg/l)	250	1,66	1,28
HCO ₃ ⁻ (mg/l)	500	22,16	22,16
NO ₃ ⁻ (mg/l)	50	5,41	5,41

Température

La température moyenne des eaux souterraines de l'aquifère côtier du bassin versant de la Loémé varie entre 25,2 et 26,28 °C pour les forages entre 26,03 et 26,40°C pour les sources et entre 26,02 et 26,48 °C pour les puits. Ces températures des eaux souterraines sont légèrement toutes supérieures aux normes de l'OMS (25°C), et varient peu dans l'espace. Elles dépendent des conditions d'écoulement et de la structure de l'aquifère.

Potentiel d'Hydrogène (pH)

Le pH des eaux naturelles est lié à la nature géologique des terrains traversés. Dans le bassin versant de la Loémé,

Le pH des eaux dans l'aquifère côtier est compris entre 4,05 à 6,70 pour les forages, de 3,59 et à 7,00 pour les sources et enfin de 3,95 à 6,66 pour les puits. Pour tous les échantillons d'eau prélevés dans cette région, la valeur du pH est dans les limites acceptables pour l'eau de boisson (6,5 – 8,5) conformément aux normes de l'OMS (2006).

La conductivité électrique (CE)

La conductivité représente la résistance qu'une eau oppose au passage d'un courant électrique. Au niveau des forages, la CE varie entre 10 et 50 $\mu\text{S/cm}$

pour une moyenne de 35,14 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans l’ensemble des échantillons récoltés au cours de cette étude ; pour les sources, la conductivité (CE) est comprise entre 10 et 48 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (moyenne = 28,98 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Les puits présentent une conductivité comprise entre 13 et 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (moyenne = 36,36 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Elle est liée à la présence des espèces ioniques en solution dans la zone d’étude, elle présente des valeurs très faibles (10 <CE< 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$) témoignage de l’inexistence des activités industrielles ou agro-pastorales dans l’ensemble du bassin versant de la Loémé et des pollutions anthropiques locales de la nappe ; c’est aussi l’expression d’une faible minéralisation de ces eaux.

Concentrations en ion calcium (Ca^{2+}) et en ion magnésium (Mg^{2+})

Les statistiques des concentrations des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} varient respectivement entre 7 et 29 mg/l et 2 et 29 mg/l, dans l’eau du bassin-versant de la Loémé. Les valeurs moyennes respectives en cations majeurs sont 23,66 mg/l et 14,83 mg/l. Cette variation est due aux échanges de bases qui enrichissent les eaux de l’aquifère en alcalins dans le bassin différemment selon la géologie.

Le calcium peut provenir des formations gypsifères ($\text{Ca SO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$), qui sont facilement solubles. Le magnésium est un élément qui accompagne souvent le calcium, et provient de la dissolution des dolomies, des calcaires dolomitiques et des minéraux ferromagnésiens. On remarque que la variation des concentrations du magnésium est similaire à celle du calcium.

Concentration en ion sodium (Na^+)

Il est à noter que les normes de la présence de sodium dans les eaux sont très minimales (< 200 mg/l). Les teneurs en sodium dans les eaux dans ce bassin versant sont comprises entre 0,03 et 1, 1 mg/l, avec une moyenne la plus élevée de 0,49 mg/L.

La présence du sodium dans l’eau peut être d’origine anthropique ou d’origine naturelle dans le sol. Le sodium peut présenter des dangers d’encéphalopathie pour des personnes aux insuffisances rénales chroniques. Dans le bassin versant de la Loémé, les résultats montrent qu’il existe des faibles variabilités des valeurs de concentration des ions sodium dans l’eau.

Concentration en ion potassium (K^+)

Les statistiques des concentrations en potassium d'un point de mesure à l'autre sont variables. Les moyennes ne sont pas significatives dans l'ensemble du bassin versant de la Loémé (5,57 mg/L) avec des écarts de 0,75 et une variance de 0,57.

Le potassium est un élément alcalin, très réactif avec l'eau ; on le retrouve dans les roches ignées et dans la nature sous forme de chlorure double dans de nombreux minerais. Il se trouve aussi dans la végétation sous forme de carbonate.

Concentration en ion sulfate (SO_4^{2-})

Les sulfates sont présents dans les eaux naturelles (concentration inférieure à 1g/L) à des teneurs très variables et ils peuvent provenir de la dissolution du gypse. Comme pour les nitrates, les valeurs maximale ou minimale ne dépassent pas la norme de potabilité de l'eau. Les distributions sont étendues entre 11 et 19,83 mg/L et leur écart - type est égal à 2, 19 avec une variance de 4,8.

Concentration en ion chlorure (Cl)

Constituants naturels de la croûte terrestre, les ions chlorures sont présents dans toutes les eaux à des concentrations différentes et sous forme de sels : chlorure de sodium NaCl, chlorure de potassium KCl ou chlorure de calcium $CaCl_2$ introduits par des apports naturels ou d'origine humaine.

Les analyses des eaux échantillonnées dans le bassin versant de la Loémé montrent que les valeurs des ions chlorures sont supérieures à la référence de la qualité (5 mg/l) dans tous les points. La teneur varie entre 6,71 et 14,32 mg/L. C'est l'un des éléments majeurs du milieu qui détermine le faciès chimique de l'eau dans la région et il n'est pas dangereux pour l'homme, mais la chloration permet d'obtenir une eau exemptée de virus à partir d'une eau polluée par des organismes fécaux lorsque sa concentration est maintenue aux normes.

Concentration en ion bicarbonate (HCO_3^-)

Les bicarbonates se trouvent dans les eaux naturelles, leur présence dans l’eau est dû à la dissolution des formations carbonatées tel que les calcaires et les dolomies. Le comportement d’une eau dépend du fait qu’elle est ou non à l’équilibre.

Dans notre zone d’étude, la concentration moyenne générale de bicarbonate est de 23,42 mg/L. Les mêmes terrains qui ont donné le pH contiennent également dans leur composition de bicarbonate, le pH faible présente une concentration de bicarbonate assez élevée ; c’est le cas de tous les points de mesure dans le bassin versant

Concentration en ion nitrate (NO_3^-)

Les nitrates se trouvent naturellement en concentration faible dans les eaux. Ils peuvent aussi avoir une origine artificielle due à leur utilisation en tant que fertilisants pour les cultures (engrais minéraux et organiques, déjections animales...). Les excès non absorbés par les plantes sont lessivés par les pluies et rejoignent les eaux souterraines et les eaux superficielles. Ils peuvent également être apportés par les aliments : certains légumes sont en effet très “concentrateurs” (courgettes, épinards...).

Les eaux de la nappe du bassin versant de la Loémé présentent des faibles concentrations de nitrate. Elles varient de 0,34 à 16,94 mg/L. Toutes les concentrations mesurées au niveau de tous les points de mesure présentent des teneurs peu variables et des teneurs moyennes inférieures à la norme de potabilité.

Diagramme de Piper

La représentation des éléments chimiques des différents échantillons sur le diagramme de Piper (fig. 5) montre que la majorité des échantillons coïncident sur les pôles caractérisant les faciès sulfaté magnésique et sulfaté sodique, ce qui est probablement dû à la dissolution des évaporites.

Répartition des faciès

Le faciès chimique des eaux de la nappe de l'aquifère du bassin versant de la Loémé a été déterminé classiquement à l'aide du diagramme de Piper. Les données des ions majeurs, reportées sur ce diagramme (fig. 5), ont permis d'identifier trois grandes familles d'eau dans le bassin versant de la Loémé qui sont :

- les eaux chlorurées et sulfatées, calciques et magnésiennes ;
- les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes ;
- les eaux chlorurées sodiques et potassiques ou sulfatées sodiques.

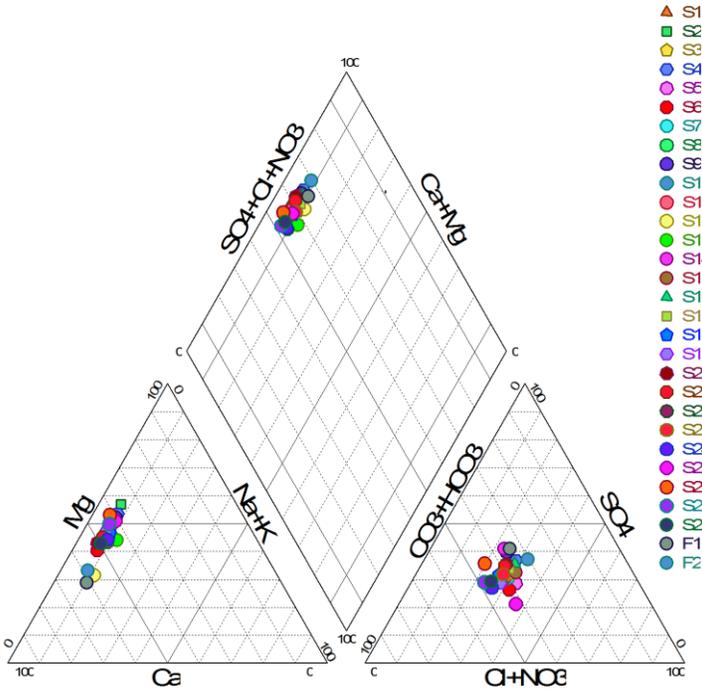


Figure 5 : Diagramme de Piper des eaux de la nappe du bassin versant de la Loémé

Analyse en composantes principales (ACP)

L’ensemble des procédures et techniques utilisées sert à identifier et quantifier la liaison entre les différents échantillons prélevés sur plusieurs sites. L’analyse en composantes principales permet de déterminer les différentes liaisons entre plusieurs variables et de mettre en évidence les associations possibles. Le but recherché est de déterminer la structure des variables (familles) ainsi que la répartition de ces dernières.

L’observation du cercle formé par les deux axes F1F2 de l’information (32,31%), montre selon l’axe F1 (14,94 %) une évolution inverse entre les indicateurs de minéralisation, particulièrement les éléments provenant des faciès chimiques, (la CE et le pH). Cette évolution caractérise les phénomènes d’oxydoréduction. On déduit que la partie positive de l’axe montre un état d’oxydation par contre la partie négative correspond à une réduction.

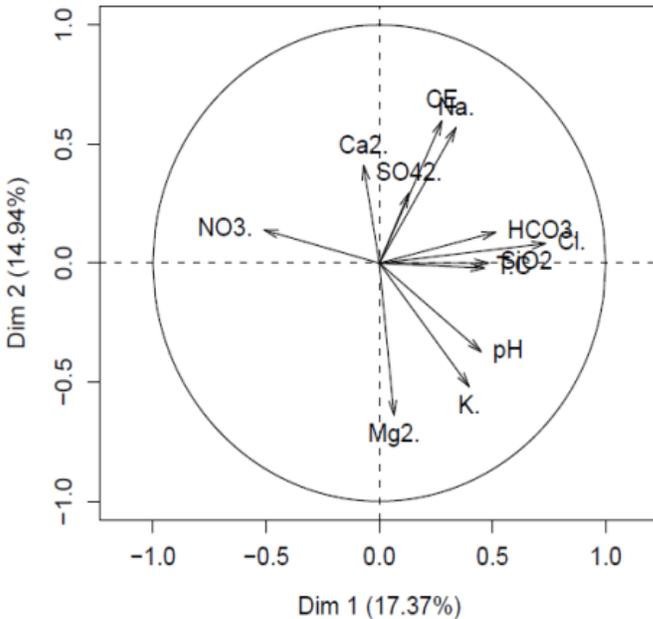


Figure 6 : Analyse en Composantes Principales des eaux de la nappe (espace des variables)

L'axe F2 (17,37 %), met en évidence une opposition entre le magnésium et le calcium, ceci indique que ces deux éléments ont une même origine, ils proviendraient des eaux bicarbonatées ou non bicarbonatées.

L'inversion de ces deux axes témoigne de la prépondérance des interactions dans l'eau de l'aquifère côtier du bassin versant. Ces interactions sont, en première approximation, proportionnelles au temps de résidence des eaux dans le réservoir côtier.

Dans l'espace les eaux sont très groupées, montrant une forte homogénéité géochimique dans l'aquifère côtier du bassin-versant de la Loémé.

Pour une analyse plus fine, la projection des individus a été aussi faite en extrayant les échantillons les plus minéralisés (n°36, 38 et 31). Cette nouvelle projection (plus fine) est présentée dans la figure (7.b) et conserve le caractère de l'absence d'une organisation géographique entre les eaux chimiquement différentes et géographiquement éloignées.

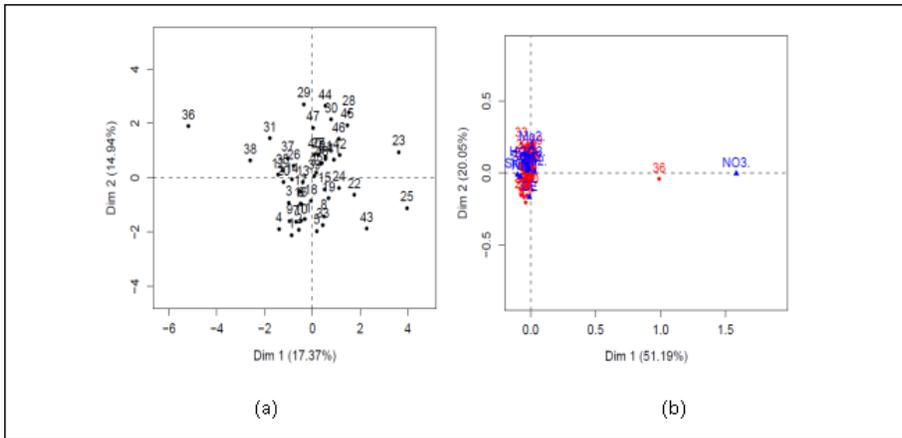


Figure 7 : Projection des individus sur un plan 1,2 (a) en éliminant l'échantillon (n°36) (b).

DISCUSSION

Pendant tout le temps qu'a duré notre étude, nous avons remarqué que les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la nappe de l'aquifère côtier du bassin versant de la Loémé présentaient trois groupes à savoir :

- les eaux chlorurées et sulfatées, calciques et magnésiennes ;
- les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes ;
- les eaux chlorurées sodiques et potassiques sulfatées sodiques.

La représentation de Piper qui révèle cette existence de plusieurs catégories d’eau qui explique en outre que ces eaux ne présentent pas un même faciès. C’est dire que, ces eaux qui alimentent les cours d’eau et les nappes de ce bassin versant de la Loémé ne proviennent pas seulement des précipitations. Ce qui laisse envisager les échanges d’eau entre les cours d’eau et la nappe d’eau souterraine.

Moukolo (1984) écrivait : « La sollicitation de plus en plus grande de ces aquifères dans la région de Brazzaville suppose que l’on envisage d’ores et déjà des mesures visant à rationaliser l’exploitation de la nappe libre de Brazzaville. On peut par exemple préconiser la modélisation de cette nappe ».

Les résultats obtenus suite à notre modélisation peuvent paraître surestimés, comparés aux résultats obtenus à partir des travaux antérieurs de Moukolo (1992). Quoiqu’obtenus dans la même région ayant le même climat que le bassin versant de la Loémé, ces résultats constituent une estimation plus approchée des quantités d’eau qui parviennent effectivement à la nappe.

CONCLUSION

Les résultats de notre étude caractérisent la relation entre les eaux de surface et les eaux souterraine dans le bassin versant de la Loémé. La répartition spatiale des ions majeurs ici est variable. Les eaux de ce bassin versant de la Loémé sont caractérisées par de faibles teneurs en ions, ceci est vraisemblablement du à l’apport des différentes formations géologiques traversées par ces eaux et aussi, par l’alimentation des eaux superficielles dans la nappe. L’analyse des composantes principales (ACP) a indiqué que les variables qui contrôlent la salinisation des eaux (Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , et K^+) représentent l’axe de minéralisation dans l’ensemble de l’aquifère du bassin versant de la Loémé.

Notre étude a révélé l’existence de trois groupes d’eau dans ce bassin versant ; on peut citer : les eaux chlorurées et sulfatées calciques et magnésienne ; les eaux chlorurées (nitratées) sodiques et potassique ou sulfatées sodiques ; et enfin les eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes.

REMERIEMENTS

Les auteurs remercient sincèrement le Laboratoire de Géographie Physique de la Faculté des Lettres et des Sciences Humaines et le Département de Géologie de la Faculté des Sciences et Techniques de l'Université Marien NGOUABI de Brazzaville pour leur aide multiforme.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANONYME, (1989) : Revue des connaissances sur le Mayombe en République Populaire du Congo. Ministère de la recherche scientifique et de l'environnement, UNESCO, PNUD, 343 p.
- BRUGIERE J.M., 1960 : Examens de trois profils prélevés dans le Mayombe Occidental (Prospection banane de mai 1960). Brazzaville, ORSTOM, 31p.
- DADET P., 1969 : Notice explicative de la carte géologique de la République du Congo Brazzaville au 1/500.000, mémoire du BRGM n°70, Congo Brazzaville, ORSTOM. pp. 12-24.
- DAKOURÉ D., 2003 : Etude hydrogéologique et géochimique de la bordure sud-est du bassin sédimentaire de Taoudeni (Burkina Faso- Mali) essai de Modélisation. Thèse de doctorat. Univ. Paris VI- Pierre et Marie Curie, 255 p.
- DEGALLIER R., 1969 : Interprétation des variations naturelles du niveau des nappes. hydrogéologie, section III, n° 2 : pp. 7-56.
- MAZIEZOULA B. ET MOUKOLO N., 1988 : Caractérisation des paramètres hydrologiques et hydrochimiques du bassin versant de la Loukénééné. Projet de développement régional du Mayombe. Rapport, ORSTOM, 28p. + annexes.
- MOTT MAC DONALD, BCEOM, SOGREAH, ORSTOM, 1991 : Evaluation hydrologique de l'Afrique subsaharienne, pays de l'Afrique de l'Ouest. Rapport du pays : Congo. Paris. Pp. 30 – 75.
- MOUKOLO N., 1992 : Hydrogéologie du Congo. Document du BRGM, No 210. éd. BRGM. Orléans. 128p.
- SAMBA-KIMBATA M.J., 2002 : Rythme bioclimatique et comportement phénologique de la végétation en République du Congo. Ann.Univ.Marien Nguoubi. 3, pp. 81-92.